Attualità Scientifiche — N. 6.

AUGUSTO RIGHI

IL RADIO

Con 13 incisioni
e 3 tavole fotozincografiche

BOLOGNA
DITTA NICOLA ZANICHELLI
1904

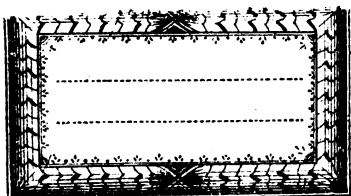
CONFERENZA

FATTA ALLA SEZIONE BOLOGNESE

DELL' ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA

LA SERA DEL 25 MAGGIO 1904.

AUGUSTO RIGHI

IL RADIO

Con 13 incisioni

e 3 tavole fotozincografiche

BOLOGNA

DITTA NICOLA ZANICHELLI

1904

L' argomento, del quale avrò l' onore d' intrattenervi questa sera, non è certamente nuovo per voi. Un illustre collega ebbe già a parlarvi del radio, spiegandovi colla parola sua precisa ed elegante i fenomeni da esso prodotti, e vi mostrò quei fenomeni elettrici, ai quali quelli del radio sono intimamente connessi.

Quella dotta conferenza deve avere svegliato in voi un vivo desiderio di vedere qualcuno degli effetti, che la preziosa sostanza è atta a produrre; e, poichè ho la fortuna di possederne una piccola quantità, ho creduto di fare cosa a voi grata utilizzandola in alcune esperienze dimostrative, che qui vedete preparate, e che varranno, io spero, a metterne in evidenza le proprietà principali.

Sarò assai breve nei preliminari, giacchè potrò limitarmi a richiamarvi quanto espose il

vostro Presidente, e quanto ebbi a spiegarvi incidentalmente or fa un anno a proposito del moto dei ioni nella scarica elettrica (*).

I.

Fu cercando di verificare, se la luce cadendo su certi corpi poteva in essi eccitare, insieme alla fluorescenza o alla fosforescenza, anche l'emissione dei famosi raggi X, che si giunse alla scoperta dei fenomeni della radiottività in genere, e successivamente a quella del radio.

È dunque indispensabile che io cominci col rammentarvi in qual modo questi raggi si producono per l'azione dei raggi catodici, e che di questi ultimi pure vi parli, perchè anch'essi hanno un intimo rapporto coi raggi emessi dal radio.

Le scariche elettriche, particolarmente allorchè prendono origine in un gas rarefatto, costituiscono un fenomeno sempre interessante,

(*) Attualità Scientifiche, n. 1.

anche per chi lo ha famigliare, ed accolgo quindi con piacere l' occasione di mostrarvene qualcuna.

Ecco un serie di sei tubi di vetro chiusi, muniti di un elettrodo positivo filiforme alla estremità superiore, e di un elettrodo negativo in forma di disco all'estremità inferiore, entro i quali produrrò le scariche di questo rocchetto d' induzione, capace di dare nell' aria ordinaria scintille di 30 e più centimetri, quando, come ora, è attivato da 30 grandi accumulatori coll' aiuto di un interruttore elettrolitico.

Questi sei tubi sembrano identici fra loro; hanno infatti la stessa lunghezza di circa un metro e lo stesso diametro di circa 5 centimetri, e di più gli elettrodi sono nei vari tubi perfettamente uguali.

La sola differenza fra questi tubi sta nella pressione dell' aria in essi contenuta.

La scarica nel primo tubo assume, come vedete, un aspetto poco diverso da quello della scintilla nell' aria alla pressione ordinaria; si nota soltanto che la colonna luminosa è di color

rosso anzichè bianco, ed ha maggior grossezza e contorni meno netti.

L'aria ha nel tubo una pressione assai piccola, in confronto della pressione ordinaria, per esempio 15 o 20 millimetri di mercurio; ma tale pressione è grande relativamente a quella dell'aria contenuta negli altri cinque tubi.

Nel secondo vedesi già la separazione della luce in due parti, e cioè la luce positiva che parte dall'elettrodo positivo e giunge sin quasi al catodo o elettrodo negativo, e la luce negativa di color violaceo, aderente al catodo stesso.

Nel terzo e nel quarto tubo, ove la pressione è gradatamente minore, la separazione è più netta; lo *spazio oscuro di Faraday*, cioè l'intervallo fra luce positiva e luce negativa, è più esteso e più di prima vicino all'elettrodo positivo. Inoltre la luce negativa comincia a mostrarsi divisa in due strati separati da un intervallo relativamente oscuro che chiamasi *spazio oscuro del catodo*. Nel quarto tubo poi la colonna positiva è divisa in istrati, fenomeno interessante quant'altri mai, ma del quale non posso tener parola.

Infine nei due ultimi tubi, entro i quali la pressione dell' aria è assolutamente piccola, vedesi che la luce positiva ha ancor perduto terreno a favore dei due strati di luce negativa, i quali però hanno ora minor intensità luminosa; ed anzi nell' ultimo tubo, entro il quale la pressione non è forse che di qualche millesimo di millimetro, non vedesi più distintamente la luce positiva; il primo strato luminoso negativo, ora pallidissimo, si è esteso assai verso l' opposta estremità, e in complesso non appare quasi altra luce, che questa verde e assai intensa, la quale irradia dalle pareti del tubo.

Apparentemente il fenomeno della scarica è divenuto gradatamente più complesso, quando si è prodotto in un gas sempre più rarefatto. Ma in realtà il meccanismo del fenomeno è andato sempre più semplificandosi.

Non potendo renderne conto ampiamente, mi contenterò di considerarne l' ultima fase, quella cioè contradistinta dalla apparizione della luce di fluorescenza sulle pareti del tubo. Questa fluorescenza (o fosforescenza che non dura oltre

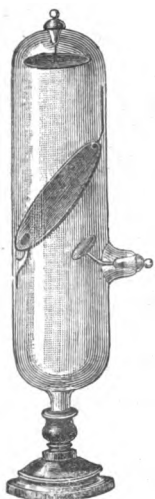
la causa da cui è prodotta) è dovuta a certi raggi invisibili e rettilinei partenti dal catodo in direzione sensibilmente normale alla sua superficie. Essi, non solo eccitano la fluorescenza del vetro, ma anche la fluorescenza o la fosforescenza di molti altri corpi, spesso con vivacità anche maggiore.

Così nel caso di questo tubo (Fig. 1), che merita la denominazione di *lampada di Puluj* dal nome del suo autore, e nel quale i raggi suddetti colpiscono uno strato polverulento di solfuro di calcio aderente alla lamina inclinata d'alluminio, la luce emessa da quello strato è molto intensa.

Fig. 1.
Tubo di Puluj.

Che la luminosità sia dovuta a raggi rettilinei partenti dal catodo, risulta dalla produzione d'un'ombra esattamente delimitata che si forma quando, come in questo tubo a voi noto del Crookes, che sto mettendo in azione (Fig. 2), un oggetto qualunque, per esempio una croce metallica, si trova collocato fra il catodo

ed il corpo, che i supposti raggi rendono luminoso.

I raggi catodici non sono raggi luminosi. Tutto porta a credere che essi siano semplicemente le linee percorse da minutissime particelle elettrizzate negativamente, lanciate con enorme ve-

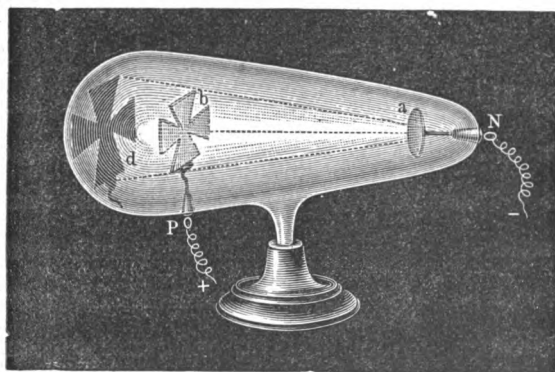



Fig. 2. — Tubo a croce di Crookes.

locità dal catodo. Molteplici esperienze fatte da diversi fisici con metodi differentissimi lo hanno dimostrato. Anzi si sono ottenuti risultati concordanti, quando, con ingegnosissime disposizioni, delle quali mi duole non poter dare neppure un cenno (*), si è potuto misurare la ve-

(*) Attualità Scientifiche, n. 3.

locità di quelle particelle, la loro massa e la loro carica.

E si è trovato, che quella velocità è enorme, spesso di ben poco minore della velocità della luce, la quale, com'è noto, ha il valore di circa 300000 chilometri per secondo; che la massa delle particelle è invece piccolissima, più piccola assai (circa un duemillesimo) di quella del più leggiero degli atomi conosciuti (idrogeno); e che la carica d'ogni particella è eguale in valore assoluto a quella che ha ogni ione elettrolitico, cioè ciascuno di quegli atomi o gruppi atomici elettrizzati, che si muovono e trasportano l'elettricità in un liquido composto, quando fa parte d'un circuito percorso dalla corrente elettrica.

I fisici sono dunque giunti a dimostrare l'esistenza di particelle materiali più piccole degli atomi chimici. Inoltre, basandosi anche su altri fenomeni apparentemente d'indole assai diversa, sono giunti a formularè una ingegnosa teoria, cioé la teoria degli *elettroni*, che fra non molto tempo ci permetterà forse di comprendere in una sintesi mirabile i fenomeni tutti del mondo fisico.

Gli elettroni sono precisamente i corpuscoli negativi costituenti i raggi catodici. Per quanto mi senta tentato di dare qualche idea di quella teoria, la tirannia del tempo mi obbliga a dirvi soltanto: che gli elettroni negativi e gli elettroni positivi sono le entità primitive, le quali colla loro aggregazione formano gli atomi di tutti i corpi; che queste entità possono considerarsi come atomi di elettricità, e sono dotate della proprietà fondamentale di agire le une sulle altre, nel modo stesso col quale il Maxwell concepiva le azioni fra i corpi elettrizzati, cioè in virtù di certe modificazioni dell'etere universale che le circonda; che ogni atomo neutro è un sistema costituito da un certo numero di elettroni negativi e di un egual numero di elettroni positivi, mentre i ioni positivi e negativi (monovalenti o plurivalenti) altro non sono che atomi, ai quali vennero tolti od aggiunti uno o più (uno se monovalenti, più se plurivalenti) elettroni negativi; che questi ultimi, e non quelli positivi, si spostano, possono esistere liberi (nei raggi catodici), possono vibrare generando quelle onde elettro-

magnetiche, le quali chiamansi onde luminose; che infine gli elettroni simulano la proprietà fondamentale della materia, e cioè l'inerzia, in causa delle perturbazioni elettromagnetiche da essi prodotte nell'etere quando si muovono.

Ma non intendo lasciarmi trascinare lungi dall'argomento principale; e tornando alla scarica nei gas rarefatti dirò, che il trasporto dell'elettricità è in essi effettuato dagli elettroni negativi respinti dal catodo, e da particelle elettrizzate positivamente, le quali per effetto delle forze elettriche camminano in senso contrario.

Si ritiene, in base a speciali esperienze, che queste particelle positive siano ioni, cioè masse di grandezza paragonabile a quelle degli atomi, e che si formino in seguito alla separazione d'un elettrone negativo da ogni atomo neutro del gas, allorchè è violentemente investito dagli elettroni provenienti dal catodo. Ove avvengono questi urti, gli elettroni assumono inoltre rapide vibrazioni generanti luce, ed è così che ha origine il secondo strato di luce negativa. Alla loro volta i ioni positivi, giungendo presso il catodo con

enorme velocità, produrrebbero una analoga *ionizzazione*, cioè la scissura d'ogni atomo neutro del gas in un ione positivo ed un elettrone negativo, con che essi rifornirebbero il catodo di nuovi elettroni per la continuata formazione dei raggi catodici. La regione attigua al catodo, ove questo fenomeno si produce, non è altro che il primo strato di luce negativa.

I ioni positivi costituiscono quindi nuovi raggi analoghi ai catodici, chiamati spesso raggi-canali, perchè essi si rendono manifesti particolarmente bene, allorchè i ioni positivi passano oltre il catodo, in virtù della loro grande velocità, contornandolo, o passando per fori o canali praticati in esso a questo scopo.

Che i raggi catodici ed i raggi positivi siano costituiti nel modo che ho detto, si è ricavato specialmente dallo studio dei fenomeni che si producono, allorchè essi sono esposti all'azione d'un campo magnetico o di un campo elettrico. Infatti quei raggi devìano allora precisamente nel modo che fa prevedere la costituzione per essi ammessa.

Se per esempio accosto questa calamita al tubo a croce del Crookes, che ho rimesso in azione, vedo subito, e con me tutti vedono, l'ombra spostarsi variamente. Ogni raggio catodico si deforma infatti, come si deformerebbe un filo estremamente flessibile, avente un estremo libero e l'altro attaccato al catodo, e percorso da una corrente elettrica diretta verso di questo.

È stato principalmente col misurare le deviazioni prodotte sui raggi catodici e sui raggi positivi, sia mediante calamite, sia mediante corpi elettrizzati, che si sono determinate le velocità, le masse, il segno e l'ammontare della carica delle particelle costituenti quei raggi, e che si è giunti alle conclusioni già esposte circa la loro natura.

Quando i raggi catodici, o meglio gli elettroni che li costituiscono, urtano un corpo qualunque, l'energia del loro movimento si trasforma parzialmente in calore, cosicchè il corpo urtato si riscalda. Se questo è un conduttore isolato, esso acquista e conserva la carica negativa. Incontrando un preparato fotografico i raggi catodici

lo modificano press' a poco come farebbero i raggi luminosi, mentre certi altri corpi, come si è visto, divengono durevolmente o momentaneamente luminosi (fosforescenza e fluorescenza). Infine la brusca variazione di velocità degli elettroni al momento d' un urto contro un corpo qualunque fa nascere delle perturbuzioni elettromagnetiche, propagantisi nell' etere come le onde d' esplosione si propagano nell' aria, e che si manifestano come una nuova radiazione, quella scoperta dal Röntgen.

I raggi X sarebbero dunque, secondo questo modo di vedere generalmente adottato, di natura affatto diversa da quella dei raggi catodici e dei raggi positivi. Effettivamente essi non sono menomamente deviati nè dalle calamite nè dai corpi elettrizzati.

Tuttavia anche i raggi X producono fosforescenza e azioni fotografiche come gli altri raggi, di cui siamo andati parlando. Sono questi fenomeni tanto conosciuti, specialmente in seguito all' applicazione che se ne è fatta per rendere visibili le ossa ed altre parti interne del corpo

umano, che giudico inutile ripetere qui certe belle esperienze, che altri vi avrà certo in modo brillante mostrato.

E solo vi dirò, che questi mirabili risultati si debbono al fatto, che i raggi X attraversano senza deviare ogni corpo, indebolendosi più o meno a seconda che esso è più o meno denso. I raggi catodici mostrano dal loro canto un comportamento analogo, che più facilmente si studia quando, facendoli passare attraverso una sottile laminetta metallica, escono dal tubo ad aria rarefatta, nel quale vennero generati.

Due altri effetti comuni a questi diversi raggi debbo ora indicare. Uno consiste nella produzione di nuovi raggi ogni volta che i raggi d'una data specie incontrano qualche corpo.

Questi raggi, detti raggi secondari, presentano proprietà analoghe, se non identiche, a quelle dei raggi produttori, e spesso anche a quelle dei raggi di specie diversa. Così i raggi X sono i raggi secondari dei raggi catodici, e questi possono esserlo dei primi.

L'altro ed importantissimo effetto comune ai

raggi X ed ai raggi catodici, consiste nel rendere conduttori della elettricità i gas che essi attraversano. Essi *ionizzano* i gas, ossia trasformano i loro atomi in ioni positivi ed elettroni negativi (i quali ultimi in certi casi possono unirsi ad atomi neutri formando ioni negativi), e questi ioni ed elettroni, in causa del moto che assumono sotto l' azione di corpi elettrizzati, effettuano il trasporto della elettricità come in un elettrolita.

Quanto vi ho detto sulle scariche, sui raggi catodici, ecc. è un nulla in confronto di ciò che pur sentirei bisogno d' esporvi per la chiara comprensione dei fenomeni offerti dal radio; ma il timore di troppo dilungarmi e di annoiare soverchiamente i molti, che di queste spiegazioni preliminari non avrebbero avuto bisogno, mi spingono ad affrontare senz' altro l' argomento principale del mio discorso.

II.

Nelle prime esperienze del Röntgen i raggi X provenivano dalla parete di vetro opposta al-

l'elettrodo negativo, colpita dai raggi catodici, la quale in pari tempo brillava della nota luce verde di fluorescenza. Sembrava allora che fra i due fenomeni, fosforescenza o fluorescenza e raggi X, esistesse un certo legame, tanto che a molti balenò l'idea, che i corpi fosforescenti per qualsiasi cagione, per esempio perchè colpiti dalla luce, potessero emettere raggi X. Il sig. Enrico Becquerel, fra gli altri, tentò la prova, la quale dopo una serie d'insuccessi ebbe esito favorevole, allorchè adoperò un sale d'uranio. Un cristallo di solfato doppio d'uranio e potassio fu collocato sopra una lastra fotografica avvolta in carta nera, ed il tutto fu esposto al sole. Sviluppata la lastra, questa si trovò annerita sotto il cristallo.

Il fenomeno previsto, e cioè la produzione di raggi X accompagnante la fosforescenza, sembrava dunque verificarsi. Se non che il Becquerel ben presto riconobbe, che l'effetto si produceva anche nell'oscurità, e che era dovuto ad una spontanea e continua emissione dal sale d'uranio di una speciale radiazione, capace di attraver-

sare i corpi opachi e di agire sui preparati fotografici.

I raggi uranici, detti poi raggi di Becquerel, erano così scoperti.

Lo stesso fisico verificò ben presto un nuovo effetto dei raggi uranici, quello cioè, comune come si è visto anche ai raggi X e ai raggi catodici, di rendere conduttori i gas; cosicchè potè sostituire al metodo di ricerca basato sull'impiego delle lastre fotografiche, quello più comodo dell'azione sull'aria circondante i corpi elettrizzati. Quest'aria, resa più o meno conduttrice, determina la scarica più o meno rapida d'un elettrometro. Dal tempo impiegato per ottenere una stessa diminuzione di carica potrà desumersi una misura relativa dei raggi uranici.

L'uranio fu dunque il primo corpo di cui fu riconosciuta la *radioattività*, per adoperare un vocabolo già comunemente adottato. Questa radioattività costituisce una proprietà dell'atomo d'uranio, giacchè un composto od un miscuglio, contenenti quel corpo, hanno un grado d'azione

proporzionale alla quantità d' uranio in essi contenuta.

Poco tempo dopo le ricerche di Becquerel si trovò che il torio, uno dei costituenti delle sostanze di cui è formata l' usuale reticella Auer, si comporta come l' uranio.

La radioattività dell' uranio e del torio è minima in confronto di quella del radio e di certi altri corpi, e per metterla in evidenza col metodo fotografico occorrono alcune ore di permanenza del corpo radioattivo ad una piccola distanza dal preparato fotografico. Se poi si ricorre al metodo elettrico, è necessaria un' azione di minor durata, ma tuttavia bisogna misurare a minuti o meglio a quarti d' ora il tempo durante il quale si produce la scarica parziale o totale d' un elettroscopio. Si ignorerebbe dunque molto ancora, di quanto già si sa intorno ai fenomeni della radioattività, se solo sull' uranio o sul torio essi si fossero studiati.

La scoperta dei primi corpi fortemente radioattivi si deve ai coniugi Curie. Passando in rassegna una grande quantità di minerali ne tro-

varono alcuni, i quali erano più radioattivi dell' uranio puro. Era naturale allora supporre in quei minerali l' esistenza di qualche nuovo elemento alquanto più radioattivo dell' uranio.

Guidata da questo concetto la Sig.ra Curie dimostrò la probabile esistenza di un nuovo elemento, che chiamò *polonio* dal nome della sua patria, e più tardi i Curie coll' aiuto del Sig. Bémont isolarono un altro elemento nuovo chiamato *radio*. Non parlerò del polonio, la cui natura non è per anche ben chiarita, nè di altri elementi radioattivi trovati dopo, come l' attinio, il radiobismuto, etc., ma solo del radio, del quale si sanno oggi preparare composti allo stato di purezza. Del resto le proprietà dei vari corpi radioattivi non differiscono sostanzialmente fra loro.

È specialmente dal minerale chiamato pechblenda che si estrae il radio. Quel minerale fu finora adoperato per estrarne l' uranio in esso contenuto. Ciò che rimane dopo questa estrazione contiene un gran numero di elementi, che possono separarsi con processi chimici speciali. Fra

gli altri si può ricavarne un sale di bario il quale, contrariamente a ciò che si osserva coi sali di questo metallo tratti da altri minerali, ha una radioattività notevole. Quel sale contiene infatti una piccola quantità di radio, esso pure allo stato di combinazione; ma non si riesce a separarlo dal bario, perchè ha proprietà chimiche sensibilmente uguali a quelle di questo metallo.

Si giunge invece a separare il composto di radio da quello di bario con un processo fisico basato sulla solubilità leggermente differente, che hanno i sali dei due metalli. Così per esempio fatta una soluzione satura di cloruro di bario e radio e lasciandola evaporare, le prime porzioni di cloruro che cristallizzano sono più ricche in radio, mentre la soluzione rimanente ne contiene relativamente meno. Colla ripetizione giudiziosa e paziente di questo processo si arriva ad isolare il cloruro di radio quasi puro. Ma oltre al tempo assai lungo, questa serie di operazioni richiede l' impiego d' una considerevole quantità di minerale. Infatti, da una tonnellata di residui di pechblenda non si rica-

vano che da due o tre decigrammi di sale di radio.

Posseggo 40 milligrammi di bromuro di radio, ma solo 20 di essi sono di sale sensibilmente puro, a giudicarne dal grado di radioattività, che è circa un milione di volte quella dell' uranio a condizioni uguali. Quindici milligrammi sono contenuti in questa piccola capsula che ho fra le dita, mentre gli altri cinque, racchiusi in altra capsuletta, sono in questo momento all' opera per produrre un' azione fotografica, di cui mostrerò più tardi il risultato.

Proietto con una lente sul diaframma un' imagine ingrandita della scatoletta, a tal uopo fortemente illuminata dalla lanterna di proiezione; e poichè insieme ad essa vedete anche l' imagine delle dita che la stringono, potete farvi una idea delle sue dimensioni. Mentre la giro fra le dita, vedete smuoversi i piccoli grani giallognoli di bromuro di radio nella piccola cavità, nella quale restano imprigionati dalla lamina di mica che li copre. Questi pochi granelli, del peso di

quindici milligrammi, serviranno alle esperienze che fra poco dovrò mostrarvi.

Il costo del radio è elevatissimo, e va ancora crescendo. Ciò è conseguenza della sua scarsezza e del lungo lavoro che richiede la sua preparazione. La quantità che vi ho mostrato costa oltre le mille e cento lire.

La scarsa dotazione annua del laboratorio non mi avrebbe consentito una sì ingente spesa, e tuttora non conoscerei il radio che di fama, se S. E. il Ministro Orlando non fosse venuto in mio aiuto. Con una nobilissima lettera, che conserverò sempre gelosamente, Egli mi annunciò alcune settimane fa il gradito dono, ed ora son ben contento che mi si offra accasione di attestargli ancora una volta la mia riconoscenza; la quale, se fosse possibile, si accrescerebbe ancora col pensare alle attuali difficoltà finanziarie del Ministero dell'Istruzione, che anche in tempi normali non è così abbondantemente provveduto, come, a mio parere, dovrebbe esserlo in ogni nazione civile.

Ecco quali sono i principali fenomeni, che il radio produce.

In presenza d'un corpo radioattivo, come il radio, i corpi fosforescenti o fluorescenti divengono luminosi, come quando su di essi cadono le radiazioni diverse, di cui ho dapprima parlato.

Ecco un diaframma di cartone spalmato di platino-cianuro di bario, sostanza eminentemente atta alla dimostrazione di tale fenomeno. Rendo quasi buia la sala, ed accosto al diaframma la scatoletta contenente il bromuro di radio; ed ecco apparire un leggiero splendore, che si sposta sul diaframma, mentre sposto dietro il cartone il corpo radioattivo. Come si vede, siamo ben lontani da quel vivo splendore, di cui si è letto la fantastica descrizione in qualche giornale. Se anche invece di 15 milligrammi possedessi un grammo o due del composto di radio, la luce di fosforescenza da esso provocata non basterebbe certo per illuminare l'ambiente, e forse neppure per rischiarare, a sufficienza per poterla leggere, la pagina di un libro.

Interponendo fra il radio e lo schermo un corpo qualunque, appare su quello un'ombra di

questo avente tal forma, da rendere manifesto, che il fenomeno della fosforescenza è prodotto da raggi rettilinei emessi dal radio.

Un effetto permanente si ottiene sostituendo al corpo fosforescente un preparato fotografico. Al momento di cominciare la mia conferenza mi avrete visto collocare sopra un sostegno e a circa cinque centimetri di altezza al disopra di questa scatola col coperchio d' alluminio, una capsuletta, simile a quella di cui vi ho mostrato l' imagine, ma contenente soltanto 5 milligrammi di bromuro di radio. Nella scatola era stata posta una lastra fotografica al gelatino-bromuro d' argento, e sul coperchio furono collocati i varii oggetti che qui vedete, cioè una piccola chiave, un pezzetto di reticella d' ottone, una penna metallica, e la mia borsetta di pelle contenente soltanto una moneta da due lire.

Qualche minuto fa ho fatto portare altrove la scatola contenente la lastra fotografica, onde far subire a questa le necessarie operazioni destinate a rivelare l' azione dei raggi emessi dal radio, che l' hanno colpita attraverso la lamina

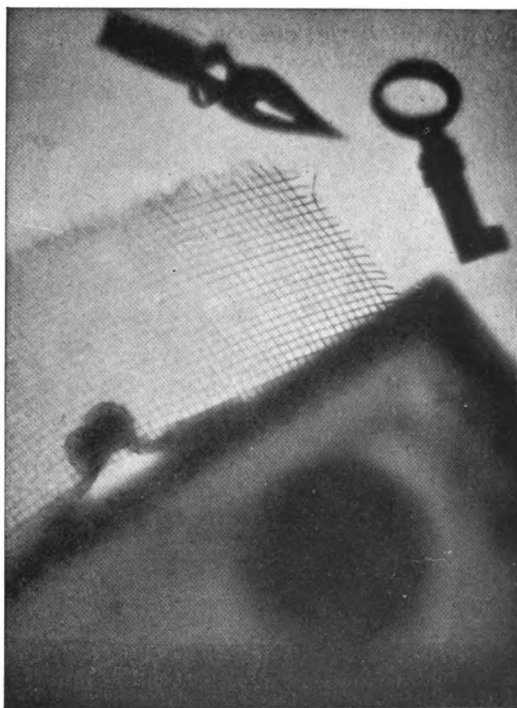



Fig. 8. — Riproduzione in foto-zincografia di una copia fotografica positiva, stampata mediante la lastra stessa, che servì, durante la conferenza, per dimostrare l' azione fotografica dei raggi del radio.

d' alluminio. Ecco appunto la lastra già sviluppata, e perchè meglio apprezziate il risultato ottenuto, proietto una imagine di essa sul diaframma. Come vedete il contorno della chiave, della reticella, della penna, sono stati fedelmente riprodotti, e con essi quello della borsetta e della moneta in quella contenuta. Questi diversi oggetti hanno riparato certe regioni della lastra dall' azione, analoga a quella della luce, prodotta dai raggi del radio, e la lastra è rimasta trasparente nelle parti così riparate. Se, quando la lastra sarà asciutta, l' adoprerò per stampare una positiva, appariranno in nero le ombre dei vari oggetti enumerati. L' assorbimento, prodotto dalla pelle del borsellino sui raggi del radio, è abbastanza piccolo, perchè i raggi rimanenti producano l' ombra della moneta.

Se avessi posto la mano sulla scatola, invece della chiavetta e degli altri oggetti, avrei ottenuto un' imagine simile, quantunque meno perfetta, a quelle tanto conosciute, che si ottengono coi raggi di Röntgen, e cioè una imagine nella quale si sarebbe vista l' ombra delle ossa.

L' esperienza fatta in tal guisa non mi avrebbe arrecato altri danni, all'infuori di quello di farmi stare a lungo in un atteggiamento alquanto scomodo. Ma il male sarebbe stato maggiore, qualora avessi adoperato una maggior quantità di radio, e l' avessi lasciato a lungo a contatto o a piccolissima distanza dalla cute. In tali condizioni possono prodursi dapprima degli arrossamenti di questa, poi vere lesioni. In compenso, pare che facendo agire il radio in modo regolato, si riesca ad alleviare, se non a guarire stabilmente, certe malattie, come il cancro.

Un' azione distruttrice è spiegata dai raggi del radio su vari corpi, come alcuni tessuti, fibre vegetali, ecc. In vari casi essi producono modificazioni chimiche più o meno profonde, trasformano l' ossigeno in ozono, il fosforo bianco in fosforo rosso, e via dicendo. Ma non intendo parlarvi di questi fenomeni complessi e poco studiati.

Un altro effetto, del quale molto si è parlato non senza qualche esagerazione nelle conseguenze che se ne sono tratte, è quello del continuo svi-

luppo di calore, che ha luogo nel radio. Durante un' ora di tempo il radio fornisce all' incirca tanto calore, quanto ne occorre per fondere un peso di ghiaccio uguale al peso proprio.

Colla quantità da me posseduta riescirei forse a stento a dimostrare questo fenomeno, del quale riparlerò più avanti, ricorrendo al metodo stesso con cui venne dimostrato, cioè impiegando termometri e calorimetri.

Ma esistono altri strumenti eminentemente adatti a rivelare quantità di calore anche di molto più piccole, e cioè le pile termoelettriche. Era mia intenzione adottare questo metodo in uno studio del calore svolto dal radio, ed eventualmente da altri corpi radioattivi. Ma non appena volli intraprendere questo studio dovetti rinunciarvi, poichè fin dal primo giorno mi accorsi, che i miei galvanometri erano come impazziti. Il loro ago non aveva quiete e balzava incessantemente a destra o a sinistra con moti irregolari. Dovetti convincermi, che ne erano causa le correnti elettriche diramate nel suolo dalle carrozze del tram elettrico. M' aspettavo che questo inconveniente

si sarebbe manifestato, allorchè il servizio si sarebbe attivato sulla linea che passa presso questo edificio, ma non imaginavo che anche dalle linee lontane avrebbe recato tanto disturbo. Senza questa circostanza avrei preparato qui qualche esperienza atta a mostrare la produzione di calore per parte del radio, e così avreste avuto la prova d' un fatto, la cui importanza estrema non ha bisogno d' essere dimostrata.

Cito per ultimi gli effetti elettrici del radio, particolarmente la conducibilità provocata nei gas dai raggi che partono da esso. Ecco un comune elettroscopio a foglie d' oro, che elettrizzo toccandolo col polo d' una pila secca di Zamboni. Sul diaframma vedete tutti l' imagine ingrandita e capovolta delle foglie d' oro, che stanno lontane l' una dall' altra, in causa della reciproca ripulsione dovuta alla loro elettrizzazione. Accosto il radio all' elettroscopio, e subito le foglie si scaricano e cadono alla posizione verticale.

Questo scaricarsi d' un corpo elettrizzato è dovuto, come nel caso dell' analogo fenomeno

prodotto coi raggi catodici o coi raggi X, alla formazione di ioni nell' aria in seguito agli urti prodotti dai raggi sugli atomi gassosi; giacchè il gas, non appena è ionizzato, diviene conduttore. I ioni aventi carica di egual segno di quella delle foglie d' oro sono da queste respinti, quelli aventi carica opposta sono attratti, e giungendo su esse ne neutralizzano la carica; in ultima analisi succede un fenomeno simile a quello, al quale i liquidi devono la loro proprietà conduttrice.

È di questo effetto elettrico che mi varrò per mostrare qualcuna delle proprietà dei raggi del radio; ma è necessario che prima esponga quanto a tutt' oggi si sa intorno alla loro natura.

Il Sig. Becquerel riconobbe, che i raggi uranici sono deviati dalle calamite alla guisa dei raggi catodici; e le misure posteriori effettuate da diversi fisici hanno concordemente provato, che quei raggi sono costituiti da elettroni negativi identici in tutto a quelli formanti i raggi catodici, e lanciati in ogni senso con enorme velocità. Anche le forze elettriche li incurvano in

determinate circostanze, cosicchè non rimane dubbio alcuno sulla natura di quei raggi.

Ma, quando si è sperimentato col radio o con altri corpi fortemente radioattivi, si è riconosciuto, che insieme ai raggi di Becquerel, i quali, colla nomenclatura proposta dal Rutherford e generalmente adottata, chiamansi raggi β, essi emettono raggi α identici ai raggi-canali, cioè costituiti da ioni (e non elettroni) positivi, deviati quindi in senso opposto dei β dalle forze magnetiche e dalle forze elettriche. Questi raggi α hanno importanza preponderante dal punto di vista dell' energia da essi posseduta, giacchè verosimilmente il calore, che si svolge continuamente dal radio, è dovuto al loro urto contro gli atomi dello stesso radio e quelli dei corpi che lo circondano; ma, siccome i raggi α sono assai più rapidamente assorbiti dei β per parte dell' aria e dei corpi in generale, così è ai β che si devono principalmente gli effetti descritti. Si è poi scoperto infine che, oltre ai raggi α e β, il radio emette certi raggi γ, che le calamite e i corpi elettrizzati non deviano menomamente, e che si

considerano identici ai raggi X del Röntgen. Potrebbe darsi anzi, che essi fossero prodotti dall'urto dei raggi α e β sugli atomi da essi incontrati, nello stesso modo che gli usuali raggi X provengono dagli urti degli elettroni costituenti i raggi catodici.

Gli effetti dei raggi β sono quelli già enumerati. I raggi α producono analoghi fenomeni, benchè eccitino preferibilmente la fosforescenza di certi corpi, diversi da quelli che i β rendono maggiormente luminosi.

Ed ora che abbiamo un'idea concreta dei raggi emessi dal radio, cerchiamo di vederli all'opera.

III.

La smisurata curiosità eccitata dalle notizie, non sempre esenti da esagerazione, che venivano sparse ai quattro venti man mano si andavano scoprendo i singolari effetti prodotti dal radio, mise a dura prova coloro, che, a soddisfazione di quella curiosità e a vantaggio della divulgazione della scienza, furono invitati a fare qualche

pubblica conferenza sulla nuova e apparentemente miracolosa sostanza. Essi infatti dovevano presentire come, di fronte alla immensa aspettativa degli ascoltatori, le poche esperienze suscettibili di essere eseguite davanti ad un uditorio numeroso per riprodurre i principali effetti del radio avrebbero prodotto una certa delusione.

Anche possedendo quantità relativamente considerevoli di sale di radio è difficile istituire esperienze più appariscenti delle due o tre, che vi ho già mostrato, alle quali due o tre altre appena, per esempio quella che vi mostrerò più tardi e relativa all' influenza del radio sulle scintille elettriche, è possibile aggiungere. Invero, le esperienze che condussero ai risultati già notevoli, dei quali siamo in possesso, non sono di tale natura da poter essere apprezzate nei loro essenziali dettagli da molte persone nello stesso tempo. Così, per esempio, per istudiare la deviazione elettrica o la deviazione magnetica dei raggi α e β, si è ricorso in generale a piccoli diaframmi fosforescenti o a pezzetti di lastre fotografiche, opportunamente collocati fra arma-

ture metalliche elettrizzate o fra i poli d' una calamita. Nel caso in cui si adoperava il corpo fosforescente, occorreva osservarlo da vicino e nell' oscurità più profonda, prima quando non agiva nessuna forza, poi quando un momento dopo il campo elettrico o il campo magnetico veniva creato. Adoperando invece il metodo fotografico, occorreva in ogni caso lasciar agire i raggi sulla lastra per qualche minuto o per qualche ora, a seconda della sostanza radioattiva adoperata; dopo di che si doveva naturalmente procedere alle usuali operazioni fotografiche. Come ben si comprende, il ripetere qui esperienze di questa specie non avrebbe nessun interesse. Non mi lusingo di potere vincere tutte le difficoltà che si oppongono alla realizzazione di esperienze di tal genere atte ad una conferenza; ma spero che arriverò a mostrare a tutti qualcuno di quei fenomeni, che di solito non possono essere verificati che da uno sperimentatore solitario.

A questo scopo mi varrò del metodo elettrico, cioè dell' azione scaricatrice dei raggi emessi dai corpi radioattivi, ed adoprerò alcuni nuovi stru-

menti, dei quali darò la descrizione. Ma mi preme di non essere frainteso. Quegli strumenti non hanno di nuovo che certi dettagli di costruzione, e in fondo si riducono ad apparecchi conosciuti da molto tempo; le modificazioni che vi ho introdotto costituiscono semplicemente un adattamento razionale di essi al nuovo uso, al quale sono ora destinati.

Come avete potuto constatare, lo scaricarsi d'un elettroscopio avviene in modo rapido abbastanza, allorchè vi si accosta il radio; ma se volessi mostrare l'analogo effetto dovuto ad un corpo meno fortemente radioattivo, come ad esempio l'uranio, l'elettroscopio adoperato poco fa non gioverebbe allo scopo. Bisognerebbe infatti lasciar agire l'uranio durante qualche mezz'ora, e, per persuadersi dell'esistenza dalla sua radioattività, sarebbe necessario rassegnarsi a misurare pazientemente il tempo necessario per produrre la scarica dell'elettroscopio, una volta in presenza dell'uranio, poi in assenza di questo, per paragonare in fine i due risultati fra loro.

Ma è ovvio pensare, che si abbrevierà la du-

rata del fenomeno adoperando come conduttore da scaricarsi un conduttore estremamente piccolo, nello stesso modo che un piccolo recipiente si vuota dall'acqua che contiene assai più rapidamente di un recipiente grande, quando si fa nelle pareti di essi un piccolo foro di data grandezza.

In questo strumento (Fig. 4, 5, 6) vedesi un' asticella metallica di pochi millimetri di lunghezza (*DE* fig. 4), ben isolata da un esile ago di quarzo fuso (*B* fig. 4), alla sommità della quale è incollata una listerella di foglia d'oro sottilissima (*F*) larga qualche decimo di millimetro. Tutto ciò lo vedete sul diaframma in proiezione ingrandita.

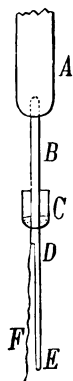



Fig. 4. — Il piccolo elettroscopio in grandezza doppia del vero.

Il tagliare e applicare in posto una fogliolina tanto piccola è la sola difficoltà seria che s'incontra a costruire l' apparecchio, e indarno tenterebbe di superarla, chi non conosca certi speciali artifici, che lunghi e pazienti tentativi mi hanno insegnato. Il minuscolo elettroscopio è racchiuso in

una scatola avente due faccie di vetro foderate internamente di reticella metallica e le altre di metallo.

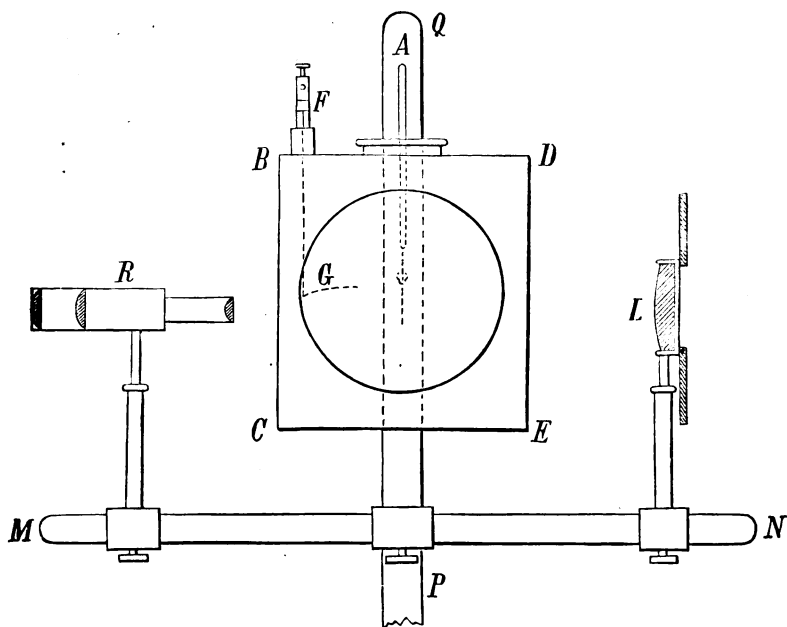



Fig. 6. — L' elettrometro della fig. 5 visto da destra verso sinistra. *BC*, *DE* pareti di vetro della scatola, *BCED* parete metallica con finestra circolare chiusa da alluminio, *FG* conduttore isolato mobile per la carica, *A* sostegno indicato colla stessa lettera nella fig. 4, *PQ* colonna che sostiene l' intero apparecchio, *R* microscopio ed *L* lente, sostenuti dal braccio *MN*. Per le esperienze della conferenza fu tolto *R* e sostituito colla lanterna di proiezione: la lente *L* produceva sul diaframma lontano l' imagine ingrandita della foglia d' oro e dell' asticella con essa comunicante.

È sull' aria imprigionata nella detta scatola che i raggi producono la ionizzazione, dalla quale risulta poi la scarica del piccolo conduttore. Bi-

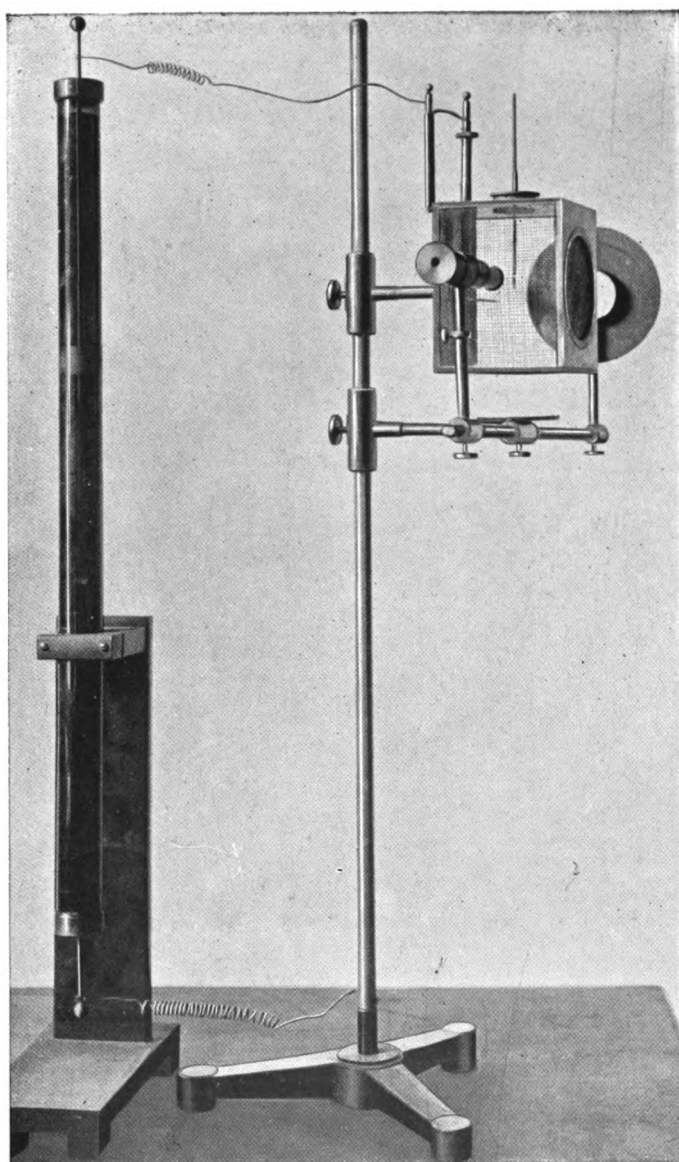



Fig. 5. — L'elettrometro completo disposto per l'osservazione mediante il microscopio posto sul davanti della figura. A sinistra vedesi la pila secca colla quale si dà la necessaria carica al sistema *FCDE* della fig. 4.

sogna però evitare il notevole assorbimento, che le pareti metalliche o di vetro aventi qualche millimetro di spessore produrrebbero sui raggi, che devono entrare nella cassetta. Perciò una delle pareti metalliche laterali, come pure quella di fondo, hanno una larga finestra circolare chiusa da una sottilissima foglia di alluminio, l' assorbimento della quale è minimo. Un congegno facile a indovinare serve a caricare il piccolo elettroscopio, ed è ciò che in questo momento sto facendo. Ecco infatti sul diaframma l' imagine della foglia d' oro, che, respinta dall' asticella metallica, è ora quasi orizzontale.

Accosto allo strumento questo disco di ossido d' uranio, ed ecco che a vista d' occhio la foglia d' oro ricade, tanto che in capo a pochi secondi l' elettroscopio resta scarico. Vedete così che, senza inventar nulla di nuovo, ma solo modificando razionalmente un vecchio strumento, ho ottenuto questo risultato, di rendere cioè manifesta la radioattività dell' uranio, senza dover pazientemente aspettare lunghi minuti e far noiose misure di tempo.

Ricarico lo strumento e accosto ad esso questo ciottolo nero, che ieri ancora si sarebbe allontanato col piede, e che oggi invece si raccoglie e si vende a caro prezzo. Esso non è altro che un pezzetto di pechblenda di Joachimsthal, cioè del minerale dal quale sopratutto si estrae il radio. Come vedete esso scarica l'elettroscopio più rapidamente dell'uranio; d'onde l'indicazione ch'esso contenga elementi più radioattivi dell'uranio, che ora sappiamo essere principalmente il radio.

Metto sotto l'elettrometro, già ricaricato, questo piattello di vetro, che contiene una piccola quantità del minerale ridotto in fina polvere: ecco che ottengo un effetto maggiore ancora. Il che vale a dimostrare, come l'effetto d'un corpo radioattivo dipenda dalla sua superficie più che dalla massa, come del resto era naturale prevedere. Se infine accosto all'elettroscopio carico il radio, ottengo una scarica rapidissima anche stando a qualche decimetro di distanza.

In possesso di uno strumento tanto sensibile ai raggi di Becquerel, era naturale che tentassi di

servirmene per mostrare alcune delle proprietà di quei raggi. Ecco qualche esperienza in proposito, e dapprima quella che dimostra l'esistenza della deviazione dei detti raggi per opera di corpi elettrizzati.

Pongo il radio al fondo di un cilindro di piombo forato (fig. 7), in modo che da esso esca

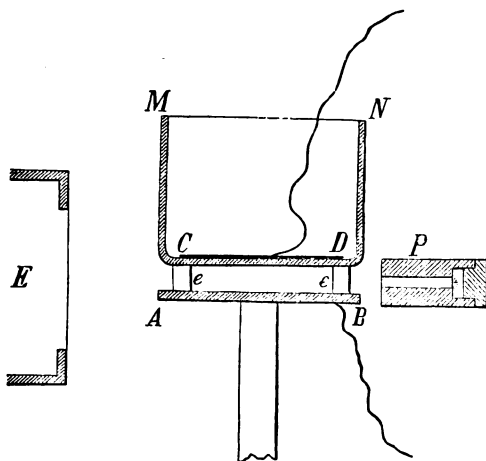



Fig. 7. — Deviazione dei raggi nel campo elettrico. *E* elettrometro, *AB* lastra metallica, *MCDM* cassetta di vetro sul cui fondo è applicata l'armatura *CD*, *e*, *e* dadi di ebanite, *P* tubo di piombo contenente il sale di radio.

solo un fascio limitato di raggi, che potranno considerarsi come raggi β soltanto, in quanto che i raggi α restano assorbiti già da pochi cen-

timetri d' aria, ed i γ producono un effetto assai più piccolo di quello dei β. È dunque una specie di cannone a sparo continuo, il quale invece di mitraglia lancia continuamente gl' invisibili elettroni, che costituiscono col loro moto spaventevolmente veloce i raggi di Becquerel. Dirigo il piccolo cannone verso l' elettrometro, poi colloco sulla sua linea di tiro una specie di condensatore, formato da una lamina metallica orizzontale comunicante col suolo, e da una cassetta di vetro, separata dalla lamina per mezzo di quattro dadi d' ebanite grossi un centimetro, ed il cui fondo è internamente rivestito di stagnola comunicante con una macchina elettrica.

I raggi che partono dal radio per giungere all' elettrometro debbono dunque percorrere l' intervallo d' aria posto fra i due conduttori oppostamente carichi. Il loro effetto è, come si vede, quasi nullo, giacchè la fogliolina d' oro si sposta assai lentamente. Ma scarico il condensatore, mettendo a contatto fra loro i due eccitatori della macchina elettrica, ed ecco che la fogliolina cade più in fretta.

Se prima si muoveva più adagio, ciò proveniva dalla deviazione elettrostatica, che subivano gli elettroni negativi costituenti i raggi β, i quali, invece di proseguire in linea retta verso l'elettroscopio, erano deviati verso il conduttore elettrizzato positivamente, e perciò non pervenivano più tutti alla finestra dello strumento.

In modo analogo, ma forse con risultato anche più netto, posso dimostrare la deviazione magnetica dei raggi di Becquerel.

A questo scopo metto fra il tubo di piombo e l'elettrometro una elettrocalamita (fig. 8), in modo che i raggi del radio debbano passare fra i suoi poli. Ciò fatto, carico l'elettroscopio, e noto come la foglia d'oro rapidamente ricada, mostrando così la ionizzazione dell'aria che la circonda, prodotta dai raggi del radio; ma ora, mediante il tasto su cui appoggio la mano, mando nel filo della elettrocalamita una corrente, ed immediatamente la foglia d'oro s'arresta. Apro il circuito dell'elettrocalamita, e la foglia si rimette in movimento. Ho dunque questo risultato, e cioè

i raggi β più non arrivano all'elettrometro, allorchè l'elettrocalamita è in azione.

Ciò si deve all'incurvarsi dei raggi β sotto l'azione del campo magnetico. Le linee di forza

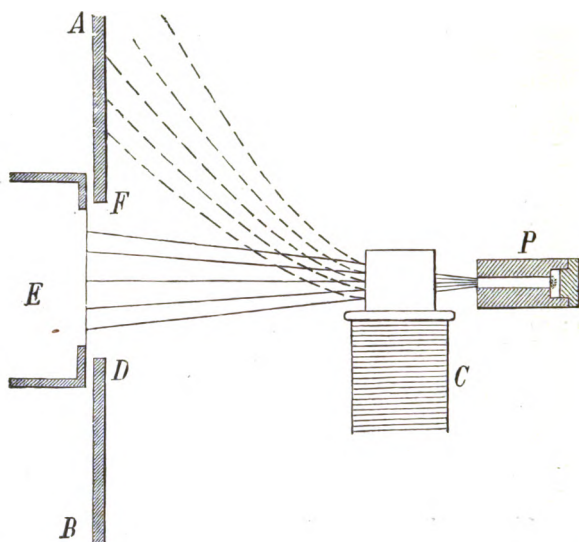



Fig. 8. — Deviazione magnetica dei raggi. *E* elettrometro, *AB* diaframma di piombo con finestra *DF*, *C* elettrocalamita, *P* tubo di piombo col radio. Le rette divergenti da *P* rappresentano i raggi emessi dal radio; le linee a piccoli tratti rappresentano gli stessi raggi quando l'elettrocalamita *C* è in azione.

di questo sono orizzontali e perpendicolari ai raggi β, ed hanno effettivamente tale direzione da incurvare alquanto verso l'alto i raggi medesimi (linee a tratti nella fig. 8).

Questa mia asserzione può essere ampiamente dimostrata vera; ed ecco in qual modo.

Abbasso alquanto sia l'elettrocalamita che il radio (fig. 9), ed ottengo per risultato, certo

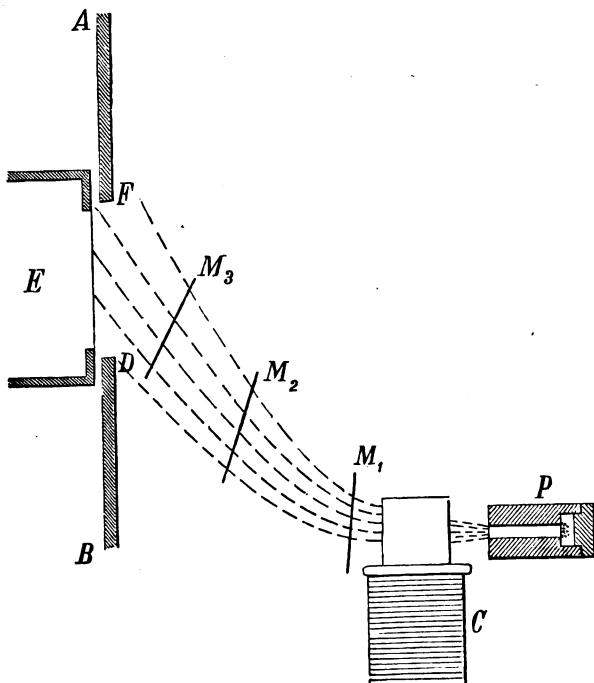



Fig. 9. — Deviazione magnetica dei raggi. *E* elettrometro, *AB* diaframma di piombo con finestra *DF*, *C* elettrocalamita, *P* tubo di piombo col radio in fondo, M_1 M_2 M_3 posizioni di un disco di piombo che intercetta i raggi deviati, rappresentati dalle linee a piccoli tratti.

da ciascuno di voi previsto, che i raggi agiscano sull'elettrometro quando la elettrocalamita è in

azione e non quando è inattiva. Aumento ora l'intensità della corrente nell'elettrocalamita in modo da aumentare la deviazione, ed ecco che la foglia d'oro torna immobile o quasi, giacchè i raggi, ora troppo incurvati, più non colpiscono lo strumento rivelatore.

Ma se anche ciò non bastasse, ecco che posso in certo modo segnare nello spazio la via percorsa dai raggi deviati.

Torno a dare alla corrente dell'elettrocalamita quella giusta intensità, per la quale i raggi giungono sulla finestra dello strumento, e poi cerco a tentativi in quali posizioni devo collocare questo dischetto di piombo, affinchè arresti per via i raggi deviati. Basta ora mettere ora levare il disco, per riconoscere se, quando è a posto, intercetta o no la radiazione. Ebbene, ecco che il disco è sul cammino dei raggi (posizione M_1 della fig. 9), giacchè la foglia d'oro è quasi immobile, e si mette in moto solo ora, che ritiro il disco. Ottengo lo stesso effetto mettendo il disco più lontano dalla elettrocalamita, ma in pari tempo più in alto (posizione M_2 della fig. 9). In-

fine trovo questa terza posizione (M_3 della fig. 9) in cui il disco è sul cammino dei raggi, trovandosi esso anche più lontano dall'elettrocalamita, e in pari tempo più in alto. In questo modo ho tracciato grossolanamente nello spazio il cammino percorso dagli invisibili e minuscoli proiettili deviati dalla forza magnetica.

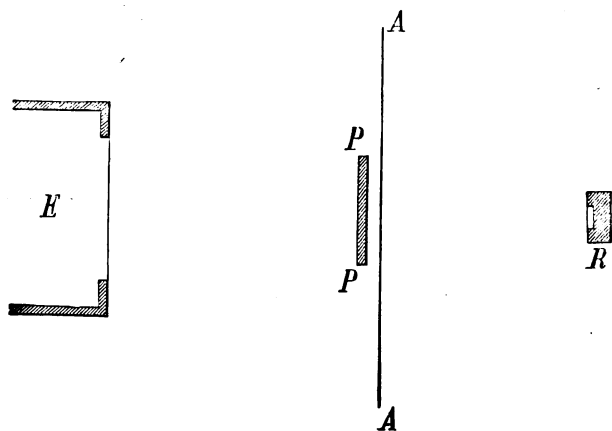



Fig. 10. — Raggi secondari. *E* elettrometro, *R* scatoletta col radio, *PP* disco di piombo, *AA* sottile lastra di alluminio.

Ma anche il fatto fondamentale, che è la propagazione rettilinea dei raggi del radio, per quanto semplice ha tale importanza, che è bene metterlo in piena evidenza. Basta perciò ch'io ponga un dischetto di piombo (fig. 10) in linea retta fra

la scatoletta contenente il radio e l'elettroscopio, per vedere rallentarsi o anche cessare affatto il movimento di discesa della foglia d'oro.

Questa esperienza, leggermente modificata, mi porge occasione di richiamare la vostra attenzione sopra un fenomeno, il quale, oltre che per la propria intrinseca importanza, occorre conoscere, onde non cadere in gravi errori nell'interpretazione di certe esperienze.

Metto il disco di piombo, destinato a trattenere i raggi del radio, sempre in linea retta fra questo e l'elettrometro, ma di più in più vicino a questo strumento; ebbene, il disco ripara l'elettrometro di più in più imperfettamente, come se divenisse meno assorbente.

Orbene la realtà è questa: l'azione che ora si manifesta sullo strumento è dovuta a raggi *secondari*, eccitati nell'aria ove è colpita dai raggi del radio. L'aria va considerata dunque, in rapporto ai raggi del radio, come un mezzo torbido o lattiginoso in rapporto ai raggi luminosi. Senza nulla mutare all'esperienza, aggiungo una sottile lamina d'alluminio assai

più grande del disco di piombo, al quale la metto vicina, ed ecco che si verifica un accelerarsi della scarica della foglia d'oro. Non saprei come si potesse spiegare questo risultato altrimenti che ammettendo, essere un po' più intensi i raggi secondari dell' alluminio di quelli dell' aria.

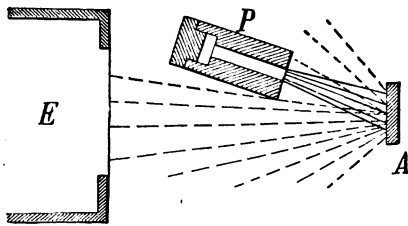



Fig. 11. — Raggi secondari. *E* elettrometro; *P* tubo di piombo col radio in fondo, *A* corpo su cui cadono i raggi del radio, rappresentati da linee rette divergenti. Le rette a piccoli tratti rappresentano i raggi secondari emessi dal corpo *A*.

Del resto posso mostrare anche più direttamente l' esistenza dei raggi secondari eccitati dai raggi del radio. Metto il tubo contenente il radio in modo, che i raggi abbiano direzione opposta o quasi a quella, nella quale si trova l' elettrometro (Fig. 11), e naturalmente l' azione loro sullo strumento è inapprezzabile; ma non appena metto davanti alla bocca del tubo una

lastra di vetro o di piombo, o la stessa mia mano, da questi corpi emanano raggi secondari, che, entrando nella cassetta dell' elettrometro, ne determinano, come si vede, la scarica.

La sensibilità del piccolo strumento da me ora adoperato, per quanto superiore, nel caso speciale dello studio della radioattività, a quella degli strumenti usuali congeneri, non sarebbe però sufficiente per mettere in evidenza la radioattività debolissima, che probabilmente possiedono i corpi tutti. In vista di future ricerche ho costruito altri strumenti di gran lunga più sensibili di quello adoperato finora. Ma, mi affretto a dichiararlo, anche qui non ho creato nulla di assolutamente nuovo, essendomi bastato il modificare opportunamente e razionalmente un vecchio apparato, la così detta bilancia di Coulomb. Ecco lo strumento che ne è risultato.

I corpi elettrizzati, che poi i raggi del radio debbono scaricare, sono due e piccolissimi (fig. 12, 13 e 14): un conduttore fisso in forma di piccolo disco o di piccola sfera, ed un frammento leggerissimo di specchio fissato all' estremità d' una esilis-

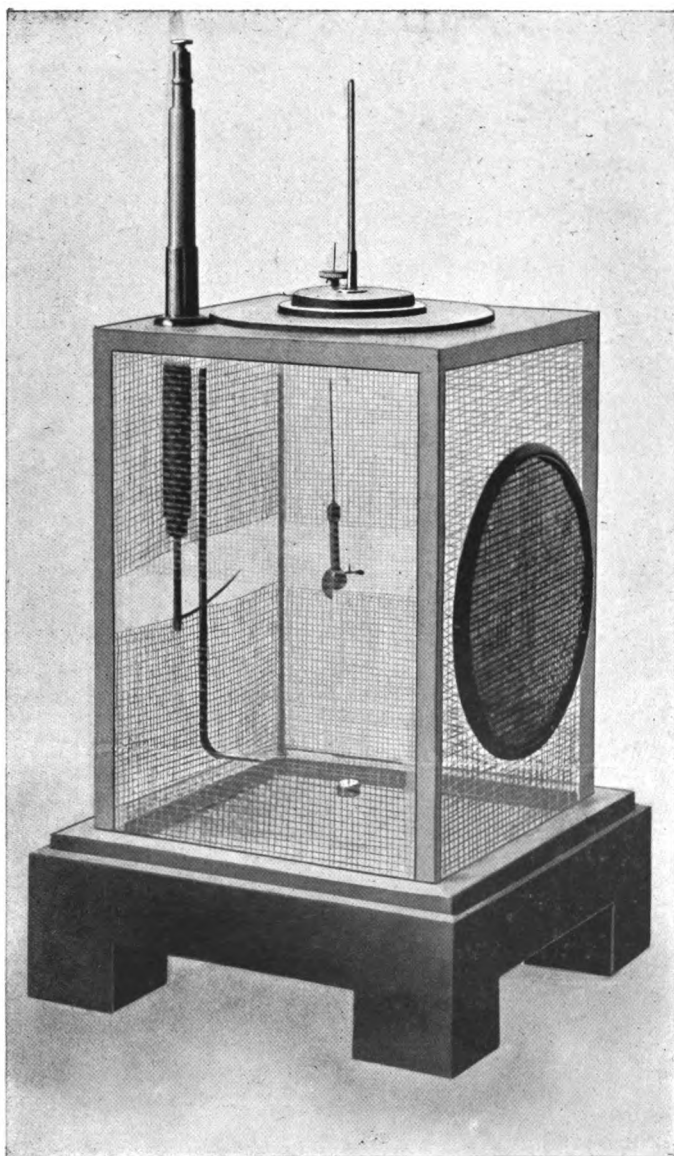



Fig. 12. — Bilancia di torsione sensibile per esperienze di radioattività.

sima leva, che alla sua volta è attaccata ad un filo di quarzo teso verticalmente (fig. 12). I due minuscoli conduttori sono a contatto; ma, non appena vengano elettrizzati, lo specchio è respinto, la leva gira torcendo il filo, ed un intenso fascio di luce riflesso dallo specchietto va a formare una striscia luminosa sopra una scala posta contro la parete lontana.

Fig. 13. — Parte essenziale della bilancia di torsione rappresentata dalla fig. 12. *LCGHI* sostegno rigido di filo metallico, *CD* filo di quarzo, *AB* striscia di mica o d'alluminio, *S* specchietto, *EF* lamina di mica, *DI* molla flessibilissima, *P* peso per mantener teso il filo. La parte *SABEF* è in grandezza naturale, mentre le lunghezze *CD* e *GH* sono un poco minori del vero.

Lo specchietto oscilla alquanto, ma in capo a pochi secondi si ferma. Mi metto a due metri dall'apparecchio, che, come vedete, è

completato da una cassetta di vetro foderata di reticella metallica ed avente in una delle pareti una finestra chiusa con foglia d' alluminio, e presento a questa il radio. Immediatamente l' imagine lu-

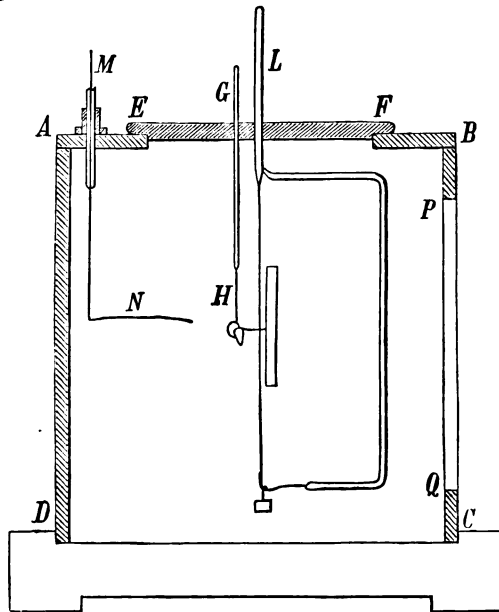



Fig. 14. — La bilancia completa. *ADCB* cassetta di vetro, *PQ* finestra chiusa con alluminio, *EF* coperchio metallico circolare mobile, *G* sostegno del piccolo conduttore fisso, *H* isolatore del medesimo, *MN* conduttore mobile per caricare il conduttore fisso e lo specchietto.

minosa si mette in lento moto, e si arresta ogni volta che colla mano nascondo il radio, rivelando in tal modo l' azione scaricatrice dei 15 milligrammi di radio a così notevole distanza. Mi

avvicino sino ad un metro, e, come era da aspettarsi, ottengo effetti più marcati; anzi la mano più non basta per sopprimere l'azione. E che i raggi attraversino la mia mano lo dimostro, stringendo in pugno il radio ed avvicinando la mano allo strumento. Come vedete l'imagine luminosa cammina abbastanza rapidamente. Infine tolgo la mano e metto il radio nella vicinanza immediata della mia piccola bilancia, e l'effetto è così violento, che la striscia luminosa percorre in un attimo tutta la parete, ed il piccolo specchio, trascinato dalla torsione del filo di sospensione, si precipita verso il piccolo conduttore fisso.

Con questo strumento si mostra facilmente come, benchè fortemente indeboliti, i raggi del radio possano manifestarsi, mercè la loro azione ionizzatrice, dopo avere attraversato strati di notevole spessore di sostanze diverse, anche se alquanto dense. Se mi metto, per esempio, presso la piccola bilancia, dopo avere introdotto la capsuletta col radio nella mia bocca, che poi tengo ben chiusa, si manifesta l'azione dei raggi attraverso la mia guancia.

Per quanto grande sia la sensibilità dell' apparecchio che vi ho mostrato, essa è superata da un altro simile strumento, nel quale il filo di quarzo è assai più lungo e libero alla parte inferiore anzichè essere fisso, come nello strumento or ora adoperato, ad entrambe le sue estremità. Non l' ho portato qui perchè per lo scopo attuale quella sensibilità esagerata non avrebbe avuto utilità.

La ionizzazione dell' aria prodotta dai raggi del radio può mettersi in evidenza in altri modi, oltre quello di cui ho tratto partito per combinare le esperienze che vi ho mostrato or ora. Ecco una esperienza, che ieri mattina ho pensato di fare e che subito mi è riescita, rassomigliante a certe mie esperienze, che altra volta ebbi occasione di mostrarvi, nelle quali, anzichè i raggi del radio, agivano raggi ultravioletti o raggi di Röntgen. Queste esperienze sono basate sul moto ordinato secondo le linee di forza, che assumono i ioni nell' aria ionizzata, allorchè sono sottoposti all' azione di forze elettriche. In quella che sto per mostrarvi, la ionizzazione

dell' aria è prodotta dal radio contenuto nella solita scatoletta, che metto in prossimità di questi dischi metallici paralleli (fig. 15), l' inferiore dei quali comunica col suolo, mentre il superiore è caricato dalla macchina elettrica. Sul

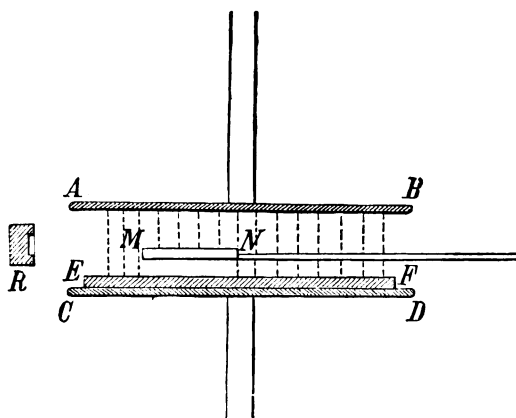



Fig. 15. — Ombra elettrica prodotta col radio. *R* scatoletta contenente 15 milligrammi di bromuro di radio, *AB* disco metallico isolato elettrizzato, *CD* disco metallico comunicante col suolo, *EF* lastra d' ebanite, *MN* lastra d' ebanite frastagliata, per esempio in modo da formare delle lettere.

disco inferiore colloco una lastra isolante d' ebanite, che, mentre parlavo, ho lavata, asciugata e scaricata sopra una fiamma, e per ultimo sospendo fra il disco superiore e l' ebanite un oggetto di forma facilmente riconoscibile, come è appunto questa lastrina d' ebanite frastagliata

in modo da figurare le due lettere *A* ed *R*. Mantengo debolmente carico per circa un minuto primo il disco superiore, indi ritiro la lastra d' ebanite, e spargo nell' aria verso di essa e per mezzo d' un soffietto il solito miscuglio di solfo e minio in polvere, che si adopera in simili casi. Ed ecco che si forma un' ombra elettrica, ossia una fedele imagine gialla delle lettere *A R* su fondo rosso.

Questo fenomeno si spiega come quelli analoghi, dei quali molti di voi avranno, io spero, conservato memoria. I ioni negativi, respinti dal disco superiore, al quale la macchina forniva elettricità negativa, percorsero le linee di forza elettrica, che nel caso attuale sono rette verticali, e deposero sulla lastra d' ebanite, collocata sul conduttore inferiore, la loro carica. Questa si elettrizzò dunque negativamente ovunque, fuorchè nelle parti riparate dalla lastra frastagliata posta al di sopra di essa. E siccome le particelle di minio escono dal soffietto con carica positiva e quelle di solfo con carica negativa, così le

prime sono attratte e le ultime respinte dalla ebanite elettrizzata negativamente.

Quanto alla polvere di solfo, che aderisce nell' ombra e disegna in giallo le due lettere, il fenomeno si spiega coll' attrazione dovuta all' elettricità positiva, che per influenza della carica dell' ebanite possiede l' armatura metallica incollata sulla faccia inferiore di questa.

L' esistenza dei raggi del radio può per ultimo manifestarsi ancora mercè le modificazioni che subiscono le scintille elettriche, allorchè si ionizza l' aria nella quale si formano. Ecco un paio di esperienze che vi mostro, senza fermarmi a spiegarle.

Faccio scoccare le scintille del rocchetto fra queste sfere metalliche di circa 3 centimetri di diametro, e distanti oltre 20 centimetri una dall' altra. Accosto ad esse la scatoletta col radio, e subito le scintille cessano di prodursi, per ricomparire non appena copro con un disco di piombo la scatoletta contenente il corpo radioattivo.

Accosto ora le due sfere sino a pochi millimetri di distanza, e regolo l' interruttore elettro-

litico annesso al rocchetto, in modo che il numero di interruzioni per secondo sia grandissimo. Si produce così un suono assai acuto, il cui numero di vibrazioni per secondo è appunto eguale al numero delle interruzioni prodotte nel medesimo tempo. Ebbene, presento il radio, tenendolo a qualche decimetro di distanza, e subito si produce un notevole cambiamento nel regime delle scariche. Infatti, non solo vedete impallidire le scintille, ma sentite il suono divenire assai più acuto di prima, ciò che dimostra, che i raggi del radio rendono maggiore il numero delle scariche per minuto secondo. E l'esperienza diviene anche più singolare facendo a questo modo, cioè avvicinando e allontanando alternativamente il radio, giacchè udite in tal guisa una variazione d'altezza del suono, in perfetto accordo coi movimenti di va e vieni della mia mano, che regge il radio.

Ma ormai mi accorgo, che da troppo tempo vi trattengo, e, lasciando da parte altre cose, vi mostro una sola esperienza ancora, che vi sembrerà, io credo, abbastanza interessante.

Si abbia un poco di sale di radio entro un tubetto di vetro chiuso. Mentre i raggi β attraverseranno abbondantemente il vetro e si propagheranno a distanza, i raggi α saranno invece in gran parte assorbiti dal vetro stesso. E siccome i primi constano d' elettroni negativi, e questi ultimi di particelle positive, il tubetto di vetro dovrà necessariamente caricarsi di più in più con elettricità positiva.

Accade però in generale, che l' aria circondante il tubetto, resa conduttrice dai raggi β, fa disperdere quella carica. Ma ciò non accade più se il tubetto vien posto in un recipiente, dal quale con una buona macchina pneumatica si sia estratta l' aria. In tal caso si constata il fenomeno previsto, cioè il formarsi d' una carica positiva ognor crescente.

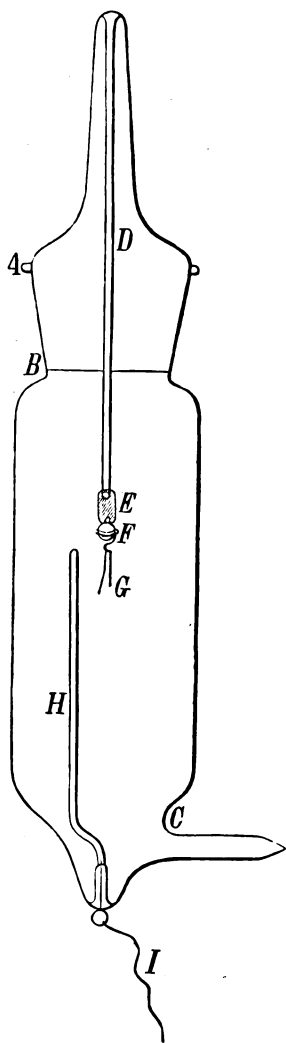
Un fisico inglese, il Sig. Strutt, ha combinato all' uopo un grazioso apparecchio, ed io vi mostro qui un apparecchio assai simile da me costruito, ma che ne differisce in qualche dettaglio essenziale.

Questo tubo di vetro (fig. 16) è stato vuotato dall' aria, e contiene una piccola asticella metallica unita ad una minuscola foglia d'oro, formanti un elettroscopio simile a quello, che poco fa ho ripetutamente adoperato. Come vedete, guardando sul diaframma l' immagine ingrandita, la foglia d' oro si muove in modo continuo. Essa si allontana poco a poco dall' asticella colla quale è in comunicazione, sinchè giunge a toccare il

Fig. 16. — Apparecchio che mostra il moto incessante d' una foglia d' oro dovuto all' elettricità positiva che si accumula intorno al radio. *ABC* tubo in cui fu fatto un buon vuoto, *D* asta di vetro, *E* isolatore di solfo, *F* globetto di vetro contenente brumuro di radio, *FG* piccolo elettroscopio simile a quello della fig. 4, *HI* filo di alluminio, contro cui periodidicamente va a scaricarsi la foglia d' oro.

filo metallico comunicante col suolo. Ma, non appena avvenuto questo contatto, la fogliolina ritorna alla direzione verticale, per ripetere poi indefinitamente lo stesso movimento. Se le ripetute flessioni della fogliolina non la danneggiassero, questo moto continuerebbe per anni e forse per secoli.

Ecco come avviene questo fenomeno. Il piccolo elettroscopio è attaccato ad un anellino metallico, che circonda un globetto di vetro, nel quale ho introdotto 10 milligrammi di bromuro di radio, meno puro però e anche meno costoso dell' altro, che questa sera ho fin qui adoperato. Il sistema costituito dal globetto e dall' elettroscopio è sostenuto da una colonnetta di solfo, che lo isola perfettamente.

Questo sistema si trova dunque nelle più favorevoli condizioni, perchè si produca il fenomeno previsto, e cioè il continuo accrescersi della sua carica positiva, che poi sparisce ad ogni contatto della foglia d' oro col filo di scarica.

Nel tubo di Strutt l' elettroscopio è a due foglie d' oro, come il primo di quelli adoperati da

me questa sera, e inoltre la capacità elettrica del sistema conduttore, nel quale rimane la carica positiva, è certamente molto più grande che nel mio apparecchio. I moti delle foglie d'oro erano necessariamente lentissimi nell'apparecchio del fisico inglese, mentre il movimento dell'unica fogliolina nel mio apparecchio è così rapido da essere direttamente sensibile all'occhio, che ne osserva l'imagine ingrandita sul diaframma. Potete infatti constatare coll'orologio alla mano, che trascorrono appena dodici secondi fra l'istante di un contatto della foglia d'oro col filo scaricatore e l'istante del contatto successivo.

IV.

Per quanto i fenomeni presentati dai corpi radioattivi siano altamente interessanti, e forse appunto perchè tali, la loro conoscenza, mentre eccita la nostra meraviglia, ci lascia insoddisfatti, facendo nascere in noi un vivissimo desiderio, che non può essere appagato, quello cioè di sapere da che e come essi siano prodotti.

Non sarebbe però ragionevole il pretendere di scoprire fin d' ora la causa immediata di fenomeni, i quali solo da poco tempo, e certo in modo non ancora abbastanza completo, ci si sono rivelati. In mancanza di una spiegazione vera e propria dobbiamo quindi contentarci di ipotesi, ed ove non possiamo giungere col raziocinio, possiamo forse arrivare mettendo a contribuzione la nostra fantasia.

Ma in questo caso, come in qualunque altro analogo che lo studio dei fenomeni naturali può presentare, non si tratta di creare un romanzo, lasciando sbrigliata e senza controllo quella nostra preziosa facoltà; occorre invece, in base ad analogie ed a confronti, cercare d' intuire il meccanismo dei fenomeni, facendoli apparire come conseguenza di premesse verosimili, di fatti noti e di leggi conosciute. Una ipotesi destinata alla spiegazione di un gruppo di fenomeni fisici è sempre una congettura ragionevole, che deve, non solo render conto dei fatti noti e con tutti accordarsi, ma altresì permettere la previsione di fatti nuovi, che poi l' esperienza deve esatta-

mente verificare. Man mano che queste verificazioni aumentano di numero, la fiducia nell'ipotesi fondamentale si accresce, sino a considerarla quasi come espressione della verità.

Tuttavia bisogna essere pronti ad abbandonare una teoria qualunque, non appena essa si mostri in contraddizione con fatti accertati; ma anche quando ciò accade quella teoria non sarà stata inutile, in quanto che avrà giovato al progresso della scienza, per i tanti nuovi fatti che avrà condotto a scoprire.

Riguardo alla radioattività dirò brevemente, che due principali ipotesi si sono finora formulate.

V'ha, in primo luogo, chi suppone esistere nello spazio certe radiazioni, come quelle che già s'immaginarono per spiegare la gravitazione, e propagantisi continuamente in ogni direzione.

Tutti i corpi sarebbero colpiti da quelle radiazioni, le quali col loro urto tenderebbero a staccarne quelle particelle, che costituiscono i raggi α e β; ma solo per certi corpi l'effetto sarebbe prodotto con grande intensità, e questi

sarebbero appunto i corpi radioattivi. Il calore emesso in modo continuo dal radio sarebbe in tal caso l' equivalente di parte dell' energia delle ipotetiche radiazioni.

Ma sembra tenda a prevalere un' altra ipotesi, basata su quella teoria degli elettroni, di cui ebbi gia a farvi un cenno. Secondo questa teoria gli elettroni, o atomi elettrici, sono gli elementi costitutivi fondamentali della materia: invece di costruire l' universo coll' etere e cogli atomi materiali, lo si costruisce coll' etere e cogli elettroni; invece di presupporre l' esistenza d' una entità misteriosa chiamata materia e dotata di inerzia, come sua proprietà fondamentale caratteristica, si presuppongono gli elettroni, dotati della proprietà fondamentale di attrarsi e respingersi in virtù di quelle incognite modificazioni elastiche dell' etere, che vennero imaginate dal Maxwell.

Come già dissi, gli atomi sono sistemi di elettroni, e la differenza fra gli atomi chimicamente diversi consiste nel diverso numero e nel diverso modo di aggregazione degli elettroni componenti.

L' ipotesi sussidiaria da introdurre per spiegare la radioattività è questa, e cioè che tali atomi non siano, o almeno non siano tutti, sistemi completamente stabili, ma invece sistemi che più o meno lentamente si trasformano. Nei corpi radioattivi avverrebbe, che ad ogni istante qualche atomo si sfascia come un edificio mal costruito; gli elettroni che lo costituivano restano in parte liberi, e in parte riuniti in nuovi gruppi costituiscono transitoriamente atomi di specie nuova, che alla loro volta si trasformano in altri, sino a raggiungere un' aggregazione relativamente stabile. Queste trasformazioni di struttura sono accompagnate da trasformazioni di energia, che rendono palese l' energia potenziale dovuta alle forze reciproche esistenti fra gli elettroni, ossia, in ultima analisi, l' energia avente sede nell' etere. Lo sviluppo di calore che accompagna le trasformazioni radioattive avrebbe dunque origine analoga a quella del calore, che si produce in molte reazioni chimiche, o in generale nei cambiamenti di struttura atomica o molecolare dei corpi. Invece di corrispondere a cambiamenti nell' aggre-

gazione degli atomi nelle molecole, corrisponderebbe dunque a cambiamenti nell' aggregazione degli elettroni negli atomi.

Così, nel caso del radio, i suoi atomi andrebbero poco a poco disaggregandosi, ed i loro elettroni formerebbero nuovi aggruppamenti successivi, cioè nuove sostanze esse pure radioattive, prima di raggiungere uno stadio di relativa stabilità, e cioè prima di formare una sostanza non radioattiva. Il radio emette infatti una sostanza, detta *emanazione*, che si mescola al gas ambiente, può essere condensata a bassa temperatura, forma certi depositi invisibili suoi corpi circostanti rendendoli temporaneamente radioattivi, producendo così quel fenomeno che chiamasi *radioattività indotta*, e infine conservata in recipienti chiusi finirebbe col trasformarsi in una sostanza stabile e non radioattiva, e precisamente, a quanto pare, in quel gas chiamato *elio*, il quale si riconobbe esistere nel sole, che gli diede nome, prima ancora che la sua presenza fosse constatata nel nostro globo.

In vero ogni corpo radioattivo, come il radio,

è una sorgente di materia, di elettricità e di energia, giacchè da esso partono continuamente particelle elettrizzate, e da esso può ricavarsi dell'energia sotto forma di calore. Il radio deve dunque avere una esistenza limitata; ma in base a dati numerici approssimativi si calcola, che occorrebbero decine di anni, perchè fosse possibile constatare una sensibile variazione della sua massa o del suo peso.

Ad ogni modo la quantità, verosimilmente scarsissima, che di questo corpo esiste sul globo, tenderebbe a diminuire ancora coll' andar del tempo, se pure non esistono cause continue di rigenerazione, che per ora ci sfuggono.

Ma non trovo opportuno insistere sopra simili considerazioni, le quali non hanno ancora un fondamento d'indiscutibile solidità su fatti rigorosamente accertati. Neppure mi darò la pena di rispondere a lungo ad una domanda, che immancabilmente vien fatta da coloro ai quali si mostra qualche nuovo fenomeno, o si parla di qualche nuova ricerca scientifica, e che viene ogni giorno ripetuta a proposito della ra-

dioattività. Si chiede: a che può servire, quali importanti applicazioni potrà avere il radio?

Nessuno di voi mi rivolgerà forse questa domanda; certamente ad ogni modo non adoprerebbe quel certo tono, che esprime quasi disprezzo per tutto ciò che non ha una immediata utilità pratica, e che in qualcuno sembra rivelare una segreta rivolta d' amor proprio.

L' apprezzare le scoperte scientifiche solo in ragione dei vantaggi, che l' uomo può ricavarne pel suo benessere o per la sua comodità durante l' effimera esistenza sul globo terrestre, è cosa degna solo di menti ristrette. Per fortuna un tal modo di considerare i progressi scientifici non prevale; altrimenti si avrebbe la morte della scienza, la quale, per ogni mente illuminata, oltre che mezzo a raggiungere occasionalmente risultati pratici, deve essere fine a sè stessa. Tuttavia, e per soddisfazione di chi è disposto a dare alle applicazioni pratiche la maggior importanza, dirò, che spesso queste si ricavarono immediatamente o per via indiretta da risultati scientifici, che sembravano non avere nulla di co-

mune colle cose della vita materiale. Un esempio recente conforta questa mia asserzione.

Quando alcuni anni fa da molti, e un pochino anche fra queste quattro mura, si studiavano indefessamente le onde elettromagnetiche, che allora sembravano costituire un fenomeno d' interesse puramente scientifico, era già nato e stava poco lontano, chi doveva trarne quella geniale applicazione, che tuttora entusiasma l'umanità; speriamo dunque che già esista chi possa e sappia ricavare qualche importante applicazione dai fenomeni della radioattività.

Con questo augurio prendo da voi congedo, ringraziandovi della lunga attenzione, che mi avete pazientemente accordata.